

# Nghiên cứu ứng dụng bê tông siêu tính năng - UHPC cho xây dựng cầu tại Việt Nam

Research on the application of Ultra High Performance Concrete - UHPC for bridge construction in VietNam

> TS TRẦN BÁ VIỆT<sup>1</sup>, KS LÊ HOÀNG PHÚC<sup>2</sup>, KS LƯƠNG TIẾN HÙNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Phó Chủ tịch Hội Bê tông Việt Nam - VCA;

Email: vietbach57@yahoo.com;

<sup>2</sup> Công ty CP Sáng tạo và CGCN Việt Nam.

## TÓM TẮT:

Nghiên cứu bê tông siêu tính năng (UHPC) ứng dụng cho kết cấu xây dựng là lĩnh vực nghiên cứu được nhiều sự quan tâm trên thế giới cũng như ở Việt Nam. UHPC là công nghệ mới, cho phép chế tạo dầm cầu với kích thước mỏng, nhẹ, kháng ăn mòn, tuổi thọ cao, giảm chi phí bảo trì tối đa và cho phép đẩy nhanh tiến độ thi công. Bài trình bày những nghiên cứu về UHPC và đề xuất một số dạng mặt cắt dầm ứng dụng cho cầu.

**TỪ KHÓA:** UHPC; độ dẻo dai; đường cong ứng suất biến dạng; kháng cắt; dầm UHPC; dầm Double Tee.

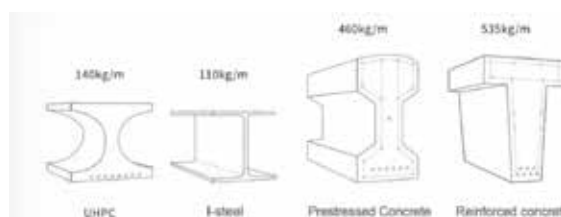
## ABSTRACT:

Research on Ultra High Performance Concrete (UHPC) applied to building structures is field lots of attention in the world as well as in Vietnam. UHPC is a new technology, allowing to manufacture bridge beam with thin, light dimensions, corrosion resistance, long life, maximum cost reduction for maintenance and allows to speed up construction. This paper presents researches on UHPC and proposes some types of beam cross-sections applied to bridges.

**Keywords:** UHPC, elasticity; stress-deformation curve; cut-resistant; beam UHPC; Double Tee beam.

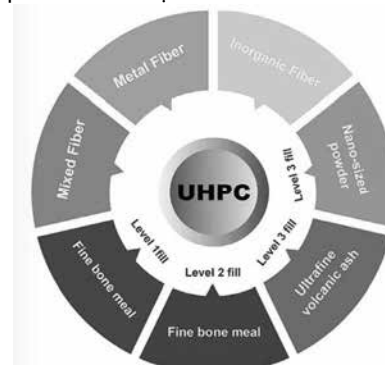
## 1. TỔNG QUAN

Trong khoảng 30 năm gần đây, tại các nước có nền công nghiệp phát triển cũng như ở Việt Nam ta, đã có nhiều nghiên cứu về bê tông cường độ cao và siêu cao. Đặc biệt là UHPC - một loại bê tông mà cường độ chịu nén có thể lên đến 200 Mpa. Bê tông này được bổ sung cốt sợi thép, sợi tổng hợp hay sợi lai Hybrid vào hỗn hợp thành phần để tạo ra UHPC không chỉ có cường độ chịu nén siêu cao mà còn có các tính năng vượt trội khác như: cường độ chịu kéo, Modul đàn hồi, độ dẻo dai và khả năng chống ăn mòn.



**Hình 1.** UHPC có nhiều ưu điểm khi sử dụng trong sản xuất dầm cầu

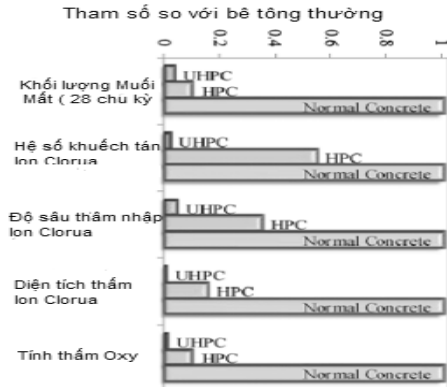
Theo nghiên cứu của Kim Jee-sang và cộng sự (TLTK [2]) thì cấu trúc của UHPC là vô cùng đặc chắc. Các kết quả nghiên cứu còn chỉ ra rằng, nếu một loại bê tông có cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày đạt trên 120 MPa thì sự ăn mòn cốt sợi thép sẽ được giới hạn ở bề mặt bên ngoài của bê tông. Kể cả khi những sợi thép gần bề mặt kết cấu bị ăn mòn cũng không có sự lan truyền ăn mòn vào trong sâu tới 5mm phía dưới bề mặt.



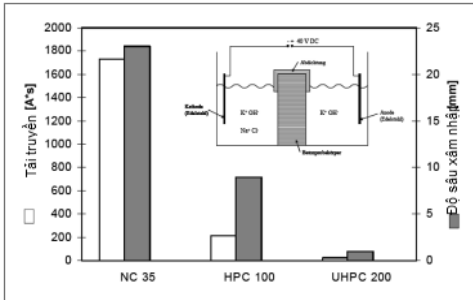
**Hình 2.** Các thể hệ UHPC đã được nghiên cứu trên toàn thế giới

Các thí nghiệm về mức độ thấm Clo đã được thực hiện trong các loại bê tông thường (NC), bê tông chất lượng cao (HPC) và bê tông siêu tính năng (UHPC) bởi các nhà nghiên cứu trên thế giới (TLTK [3] và TLTK [4]), kết quả cho thấy UHPC có mức độ thấm ion Clo rất nhỏ so với 2 loại bê tông còn lại (hệ số thấm Clo nhỏ hơn 45 lần so với bê tông thường). Hay nói cách khác, khả năng bảo vệ cốt thép trong UHPC cao hơn rất nhiều so với các loại bê tông khác. Điều đó có nghĩa là, nếu so về tuổi thọ với bê tông thường thì UHPC tăng lên nhiều lần và khi với cường độ trên 150 MPa thì tuổi thọ của kết cấu có chiều dày lớp bảo vệ >20 mm cho tuổi thọ trên 150 năm. Đặc điểm này còn được thể hiện rõ nét hơn khi sử dụng kết cấu tại môi trường biển.

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là vùng bị ảnh hưởng nhiều của thủy triều và cũng là vùng có nguy cơ môi trường nước bị nhiễm mặn và phèn. Cùng với đó là nhu cầu xây dựng hạ tầng giao thông nông thôn là rất lớn. Vì vậy, Ngân hàng Thế giới - viện trợ ODA 3 bên qua WB của chính phủ Nhật Bản, thông qua chương trình tài trợ dự án LRAMP, đã chọn cầu Từ Ô tại tỉnh Trà Vinh để hỗ trợ xây mới theo công nghệ sử dụng UHPC. Thông qua đó, có thể đưa ra các đánh giá về khả năng thiết kế, chế tạo, xây dựng, sử dụng và bảo trì các kết cấu cầu UHPC.



Hình 3. Khả năng chống ăn mòn Clo của UHPC so với NC và HPC (TLTK [3])



Hình 4. So sánh mức độ thẩm ion Clo của UHPC so với NC và HPC (TLTK [4])

## 2. TÀI LIỆU, TIÊU CHUẨN ÁP DỤNG

- TCVN 1651:2018, thép cốt bê tông.
- TCVN 2682:2009, xi măng Poóc lăng - yêu cầu kỹ thuật.
- TCVN 4506:2012, nước cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật.
- TCVN 8826:2011, phụ gia hóa học cho bê tông.
- TCVN 8827:2020, phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa - Silica Fume và tro trấu nghiền mịn.
- TCVN 9036:2011, nguyên liệu để sản xuất thủy tinh - cát - yêu cầu kỹ thuật.
- TCVN 11586:2016, xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.
- TCVN 11823-3:2017, thiết kế cầu đường bộ.
- TCVN 12392:2018, sợi cho bê tông.
- TCCS 02:2017/IBST, bê tông tính năng siêu cao UHPC - hướng dẫn thiết kế kết cấu.
- NF P18-470:2017, concrete - ultra-high performance fibre-reinforced concrete - specifications, performance, production and conformity.
- NF P18-710:2016, national addition to Eurocode 2 - design of concrete structures: specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete.
- NF P18-451:2018, concrete - execution of concrete structures - specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete.
- ASTM C230/C230M-21, standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement.

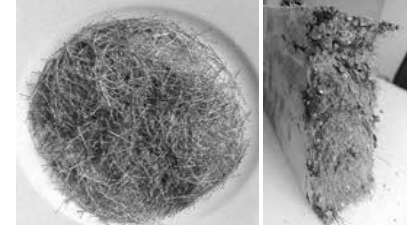
- ASTM A416/A416M-16, standard specification for low-relaxation, seven-Wire steel strand for prestressed concrete.
- ASTM C469/C469M-14e1, standard test method for static Modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression.
- ACF 04:2020, materials UHPC - technicals specification.
- K-UHPC:2014, design guidelines for UHPC.

## 3. VẬT LIỆU CHẾ TẠO UHPC

- Xi măng PC40 phù hợp với TCVN 2682:2009.
- Silica Fume phù hợp với TCVN 8827:2020.
- Xi GGBS phù hợp với TCVN 11586:2016.
- Cát thạch anh phù hợp với TCVN 9036:2011 và ACF 04 :2020.
- Sợi thép mạ đồng cường độ cao phù hợp với TCVN 12392:2018.
- Phụ gia siêu dẻo gốc PCE phù hợp với TCVN 8826:2011 và ACF 04:2020.
- Nước trộn phù hợp với TCVN 4506:2012.



Hình 5. Cát thạch anh tại vùng biển Cam Ranh



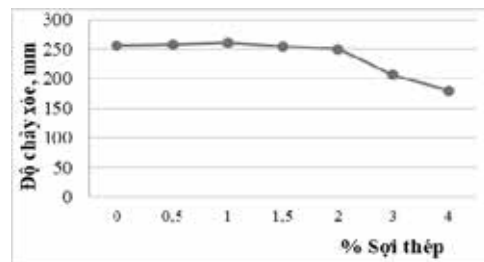
Hình 6. Sợi thép (>2800 MPa)

## 3. CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ UHPC

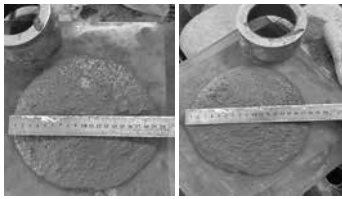
### 3.1 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính công tác của hỗn hợp UHPC

Bảng 1. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC

| Cấp phối | Hàm lượng sợi (%) | Độ chảy (mm) |
|----------|-------------------|--------------|
| CP0.0    | 0.0               | 256          |
| CP0.5    | 0.5               | 258          |
| CP1.0    | 1.0               | 261          |
| CP1.5    | 1.5               | 255          |
| CP2.0    | 2.0               | 250          |
| CP3.0    | 3.0               | 206          |
| CP4.0    | 4.0               | 180          |



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC

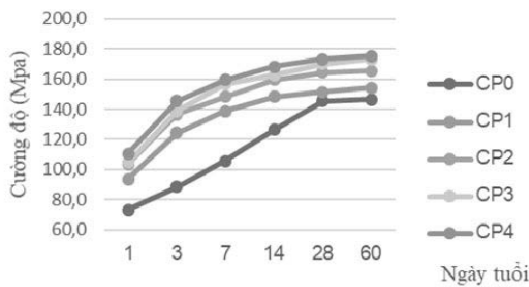


Hình 8. Thử nghiệm độ chảy xòe với cone ASTM C230

### 3.2 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến sự phát triển cường độ chịu nén của UHPC

Bảng 2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ chịu nén, mẫu D10xH20cm

| Cấp phối | Sợi thép, % | 1 Ngày MPa | 3 ngày MPa | 7 ngày MPa | 14 ngày MPa | 28 ngày MPa | 60 ngày MPa |
|----------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| CP0      | 0           | 73,3       | 88,6       | 105,7      | 126,5       | 145,4       | 146,6       |
| CP1      | 1           | 93,6       | 124,3      | 138,7      | 148,3       | 151,4       | 154,3       |
| CP2      | 2           | 103,5      | 136,9      | 148,3      | 159,6       | 164,7       | 165,7       |
| CP3      | 3           | 104,6      | 138,9      | 156,7      | 162,6       | 170,0       | 173,5       |
| CP4      | 4           | 110,6      | 145,6      | 159,5      | 168,5       | 173,5       | 175,4       |

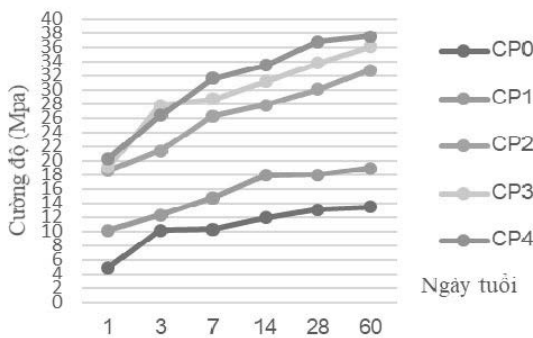


Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ nén theo thời gian

### 3.3 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến sự phát triển cường độ chịu uốn của UHPC

Bảng 3. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ chịu uốn, mẫu 10x10x40 cm

| Cấp phối | Sợi thép, % | 1 ngày MPa | 3 ngày MPa | 7 ngày MPa | 14 ngày MPa | 28 ngày MPa | 60 ngày MPa |
|----------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| CP0      | 0           | 4,9        | 10,2       | 10,3       | 11,9        | 13,1        | 13,5        |
| CP1      | 1           | 10,2       | 12,3       | 14,8       | 17,9        | 18          | 18,9        |
| CP2      | 2           | 18,6       | 21,4       | 26,3       | 27,9        | 30,1        | 32,8        |
| CP3      | 3           | 19,1       | 27,9       | 28,7       | 31,2        | 33,8        | 36,1        |
| CP4      | 4           | 20,3       | 26,4       | 31,6       | 33,5        | 36,8        | 37,6        |



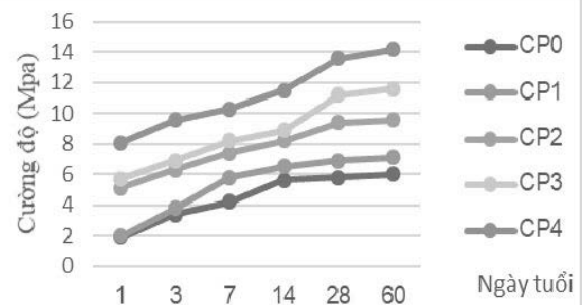
Hình 10. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ chịu uốn, mẫu 10x10x40 cm tại R28

### 3.4 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến sự phát triển cường độ chịu kéo của UHPC

Sử dụng mẫu thử có kích thước kéo 5x10x50 cm, kết quả được thể hiện qua bảng và biểu đồ sau.

Bảng 4. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ kéo theo thời gian

| Cấp phối | Sợi thép, % | 1 ngày | 3 ngày | 7 ngày | 14 ngày | 28 ngày | 60 ngày |
|----------|-------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| CP0      | 0           | 1,9    | 3,4    | 3,7    | 4,2     | 4,4     | 4,5     |
| CP1      | 1           | 2,0    | 3,8    | 5,8    | 6,5     | 6,9     | 7,1     |
| CP2      | 2           | 5,1    | 6,3    | 7,4    | 8,2     | 9,4     | 9,6     |
| CP3      | 3           | 5,7    | 6,9    | 8,2    | 8,9     | 11,2    | 11,6    |
| CP4      | 4           | 8,1    | 9,6    | 10,3   | 11,5    | 13,6    | 14,2    |



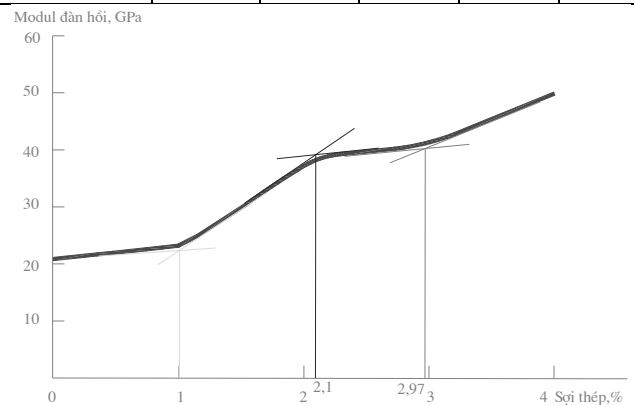
Hình 11. Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu kéo theo thời gian

### 3.5 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến Modul đàn hồi của UHPC

UHPC có mô đun đàn hồi thể hiện khả năng biến dạng dưới tải trọng khác biệt rất lớn so với bê tông thường.

Bảng 5. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến Modul đàn hồi

| Modul đàn hồi        |         |         |         |          |          |
|----------------------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Tên mẫu thử          | CP0     | CP1     | CP2     | CP3      | CP4      |
| Cường độ nén (MPa)   | 108     | 110     | 130     | 136      | 136      |
| $\epsilon_1$ (mm/mm) | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005  | 0.00005  |
| $\epsilon_2$ (mm/mm) | 0.00103 | 0.00104 | 0.00104 | 0.001041 | 0.001041 |
| S1(MPa)              | 1.98    | 2.1     | 2.55    | 2.55     | 2.61     |
| S2 (MPa)             | 43.16   | 44.32   | 52.28   | 54.52    | 59.08    |
| Modul (GPa)          | 42.02   | 42.33   | 50.13   | 52.44    | 56.98    |



Hình 12. Ảnh hưởng hàm lượng sợi đến Modul đàn hồi

### 3.6 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến khả năng chống mài mòn của UHPC

Bảng 6. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ mài mòn

| Số TT | Tên mẫu | Hàm lượng sợi thép, (%) | Độ mài mòn (g/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|---------|-------------------------|---------------------------------|
| 1     | UHPC-0  | 0                       | 0.17                            |
| 2     | UHPC-2  | 2                       | 0.13                            |
| 3     | UHPC-3  | 3                       | 0.11                            |

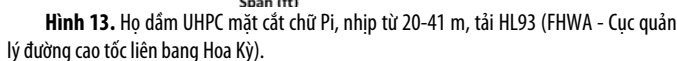
### 3.7 Khả năng chống thấm của UHPC

| Áp lực thí nghiệm<br>MPa | Kết quả hiện tượng thấm |            |            |            |            |            |
|--------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                          | Mẫu 1                   | Mẫu 2      | Mẫu 3      | Mẫu 4      | Mẫu 5      | Mẫu 6      |
| 14                       | Không thấm              | Không thấm | Không thấm | Không thấm | Không thấm | Không thấm |
| 18                       | Không thấm              | Không thấm | Không thấm | Không thấm | Không thấm | Không thấm |
| 20                       | Không thấm              | Không thấm | Không thấm | Không thấm | Không thấm | Không thấm |

#### 4. THIẾT KẾ VÀ CÁC BƯỚC TÍNH TOÁN

Theo Cơ quan Quản lý Đường cao tốc Liên bang Hoa Kỳ (FHWA), tại báo cáo FHWA-HRT-14-028, đã nghiên cứu phát triển một họ dầm Pi bằng UHPC (tương tự Double Tee), nhưng cho phép bố trí các tập trung và tiết kiệm vật liệu hơn, dùng cho tải trọng lớn HL93, nhịp từ 20-41 m.

Trên cơ sở này, để thuận tiện cho chế tạo khuôn, dự án LRAM chọn thiết kế mặt cắt dầm Tee/Double Tee cho các cầu có tải trọng nhỏ hơn hoặc bằng 0,65HL93 và nhịp <24 m. Cụ thể là 2 cầu thiết kế 2x16 m, và 1 cầu 3x20 m đã được thiết kế và xây dựng trong năm 2018 tại 3 tỉnh là Thái Nguyên, Nghệ An và Trà Vinh (ĐBSCL).



**Design law at SLS**

**Design law at ULS**

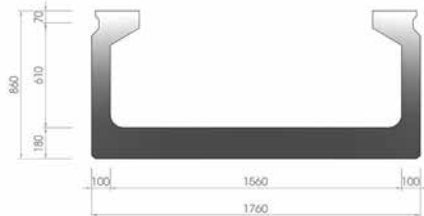
[illegible]

#### 4.2 Mặt cắt điển hình dầm UHPC cho cầu giao thông nông

[illegible]ISSN 2734-9888 | 8.2022 **XÂY DỰNG** | 67



Hình 20. Dầm U phân đoạn - căng sau của dự án cầu Vàng (Phú Thọ)



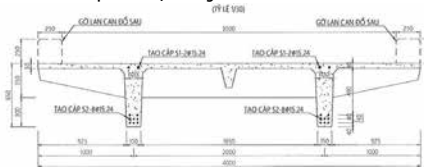
Hình 21. Dầm hộp UHPC hở liên khối - căng trước và căng sau



Hình 22. Dầm I UHPC căng trước



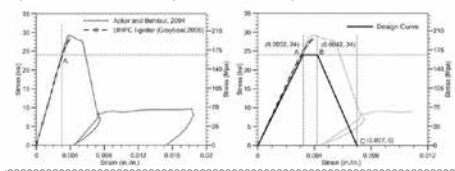
Hình 23. Dầm U UHPC phân đoạn căng sau



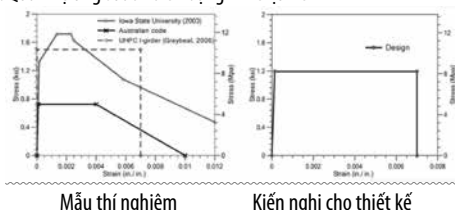
Hình 24. Dầm Double Tee UHPC bề rộng 4m

#### 4.3 Tính toán

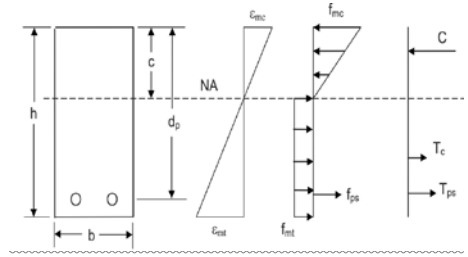
##### 4.3.1 Trạng thái giới hạn cường độ



Hình 25. Quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu nén



Hình 26. Quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu kéo



Hình 27. Sức kháng uốn của UHPC

UHPC thể hiện khả năng chịu kéo vượt qua cường độ kéo khi nứt, cho tới khi sợi thép bị kéo ra tại biến dạng 0.007. Hệ số sức kháng có thể lấy 0.8 xét đến mức độ phân tán đồng đều của sợi thép.

Sức kháng cắt danh định,  $V_n$

$$V_{yd} = V_{rpd} + V_{fd} + V_{ped}$$

Trong đó:

$$V_{rpd} = \frac{0.18 \sqrt{f'_{cd}} b_w d}{\gamma_b}$$

$$V_{fd} = \left( \frac{(f_{vd} / \tan \beta_u) b_w z}{\gamma_b} \right)$$

$$\beta_u = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2r}{\sigma_{xu} - \sigma_{yu}} \right) - \beta_o$$

$$V_{kd} = V_{yd}$$

Hình 28. Sức kháng cắt của UHPC

$f'_{cd}$ : Cường độ chịu nén thiết kế của UHPC (MPa);

$f_{vd}$ : Cường độ chịu kéo thiết kế của UHPC (MPa);

$b_w$ : Bề dày sườn;

$\gamma_b$ : Hệ số triết giảm 1.3;

$\beta_u$ : Góc giữa hướng dọc trục và mặt phẳng nứt xiên, góc này  $>30^\circ$ ;

$\tau$ : Ứng suất cắt trung bình gây ra bởi lực cắt thiết

$\sigma_{xu}, \sigma_{yu}$ : Ứng suất nén trung bình theo hướng dọc trục và vuông góc với trục dọc (MPa);

$\beta_o$ : Góc mà tại đó vết nứt xiên, nghiêng  $45^\circ$  so với trục của cầu kiện và không tồn tại lực dọc trục;

$V_{rpd}$ : Cường độ chịu cắt của cấu kiện dầm;

$V_{fd}$ : Cường độ chịu cắt của sợi thép.

$V_{ped}$ : Thành phần chịu kéo hiệu dụng của cáp căng dọc, song song với lực cắt =0;

##### 4.3.2 Trạng thái giới hạn sử dụng

a) Giới hạn ứng suất:

NF P18 710 [4] giữ nguyên giá trị giới hạn ứng suất của bê tông UHPFRC như bê tông ứng suất trước truyền thống theo Eurocode 2.

| Giai đoạn                           | Ứng suất nén              | Ứng suất kéo                         |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Ứng suất tạm thời trước khi mất mát | $0.6f'_{ci}$              | $0.4\sqrt{f'_{ci}}$                  |
| Ứng suất sau khi hết mất mát        | $0.4f'_c$ or $(0.45f'_c)$ | $+0.4\sqrt{f'_c}$<br>$+8\text{ Mpa}$ |

Hình 29. Theo số liệu thí nghiệm ứng từng dự án

b) Mất mát ứng suất:

Mất mát lâu dài dựa vào các công thức tính kiến nghị từ TCVN 11823:2017 hoặc AASHTO (phần lớn dựa vào thí nghiệm);

NF P18-710 [4] giữ nguyên cách tính mất mát ứng suất của bê tông UHPFRC như bê tông ứng suất trước thông thường.

Mất mát tức thời của UHPFRC có thể tính trực tiếp nếu biết mô đun đàn hồi của bê tông.

#### c) Không chế nứt:

Tiêu chuẩn của Pháp NF P18-710, giới hạn về bề rộng vết nứt của UHPFRC nhỏ hơn 1mm so với bê tông truyền thống (Eurocode 2) trong cùng điều kiện môi trường tương ứng.

Đối với UHPFRC không dự ứng lực, cho phép nứt ở TTGH sử dụng, chiều rộng vết nứt cho phép 0.3 mm (bình thường); 0.1 mm (khắc nghiệt); 0.05 mm (rất khắc nghiệt);

Áp dụng TCVN 11823-5 (Mục 5.7.3.4 Tiêu chuẩn AASHTO-2014) tính khoảng cách tối thiểu giữa cốt thép chịu kéo trong trường hợp có cốt thép thường.

#### 4.3.3 Phân tích kết cấu

Phân tích theo phần tử hữu hạn. Sử dụng các phần mềm phân tích kết cấu RM, MIDAS, ...

Giới hạn về độ võng tuân theo TCVN 11823-2:2017:

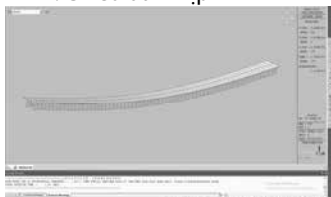
Tải trọng xe nói chung:  $L/800$

Tải trọng xe và/hoặc người đi bộ:  $L/1000$

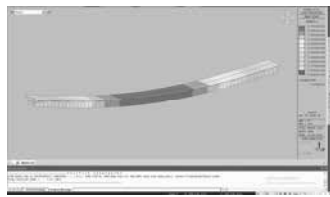
Tải trọng xe phần hẫng:  $L/300$

Tải trọng xe và/hoặc người đi bộ phần hẫng:  $L/375$

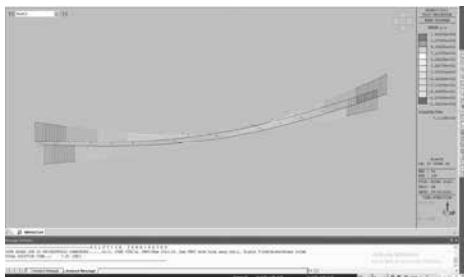
L: Chiều dài nhịp



Hình 30. Độ võng dầm double Tee 24m – Midas



Hình 31. Lực cắt dầm double Tee 24m – Midas



Hình 32. Momen dầm double Tee 24m – Midas

#### 5. KẾT LUẬN

1. Đã nghiên cứu chế tạo một hệ UHPC với cường độ chịu nén 120-180 MPa và cường độ chịu kéo từ 7 MPa đến 14 MPa.

2. Đã đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến các tính năng của UHPC. Kết quả thể hiện UHPC có thể sử dụng hàm lượng sợi thép lên đến 4% và cho kết quả cao nhất so với các hàm lượng khác.

3. Khả năng chống thấm của UHPC được xác định với kết quả trên 20 MPa. Qua đó có thể khẳng định, UHPC đáp ứng các yêu cầu thiết kế kết cấu và độ bền lâu, chống chịu ăn mòn trong môi trường nước phèn, nước biển ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

4. Nghiên cứu đã đề xuất dạng mặt cắt dầm Double Tee sử dụng UHPC nhịp 16 m và nhịp 20 m ứng suất trước, đơn giản trong chế tạo, vận chuyển, rút ngắn thời gian trong cầu lắp và thi công mối nối UHPC tại hiện trường.

5. Cường độ chịu nén và chịu kéo lớn, mô đun đàn hồi E lớn nên tiết diện kết cấu dầm thiết kế thanh mảnh.

6. Giảm chiều cao dầm  $h/l = 1/28 \sim 1/35 \sim 1/38$  giảm chiều cao đỡ trụ, giảm chiều cao đường đắp đầu cầu.

7. Kết cấu đặc chắc nên khả năng chống thấm và chống ăn mòn cao nên tăng độ bền lâu của công trình (100-150 năm) giảm chi phí duy tu bảo trì trong khai thác.

8. Kết cấu dầm thanh mảnh nên trọng lượng tính tải bản thân nhỏ (giảm khoảng 70% so với tính tải của dầm bê tông thường) nên giảm được chi phí xây dựng móng và kết cấu đỡ trụ.

9. Chế tạo nhiều kiểu dáng kiến trúc, tính tải nhẹ đảm bảo mỹ quan với các công trình cần kiến trúc đẹp, vận chuyển và cầu lắp vào vị trí nhanh chóng.

10. UHPC với các tính năng đặc biệt (kéo tốt, giới hạn phá hoại kéo lớn sau khi xuất hiện vết nứt đầu tiên) áp dụng cho vùng động đất lớn, và các bộ phận dễ hình thành khớp dẻo khi có dao động (chân trụ cầu)

11. Thời gian thi công công trình nhanh hơn, đúc hàng loạt trong nhà máy sẽ giảm giá thành. Đặc biệt hiệu quả với khu vực Đồng bằng sông Cửu Long vì có thể vận chuyển bằng đường thủy.

12. Hiện nay các nhà máy bê tông lớn đều có thể làm chủ công nghệ vật liệu, chế tạo cầu kiện dầm UHPC (bê tông Thủ Đức 1, Sông Đà Việt Đức, Thành Hưng, Xuân Mai).

13. Tư vấn thiết kế đã làm chủ phương pháp tính toán, tiêu chuẩn áp dụng, phần mềm thiết kế đã thiết kế và chế tạo 65 cầu trên 13 tỉnh thành tại Việt Nam cho kết quả tốt.

14. Chi phí xây dựng công trình hiệu quả và có tính cạnh tranh cao Chi phí xây dựng cầu giảm 15-30 % tổng giá thành so với cầu sử dụng dầm bê tông thường.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. US. Department of Transportation Federal highway administration (FHWA), Material property characterization of Ultra-high performance Concrete, August, 2018.
2. Kim Jee-sang; Kim Byung-suk, Design Guidelines for K-UHPC, Korea Institute of construction technology, Feb., 2014.
3. Voort .V, Design and field testing of tapered H-shaped Ultra High Performance Concrete piles, Iowa State University 2008.
4. Shah .S.P, Ultra High performance concrete, properties and applications.
5. Francoi TOUTLEMONDE and Jacques RESPLENDINO, Proceedings of the RILEM-fib-
6. Iowa State University, Design, construction, and field testing of an Ultra-high performance Concrete Pi-Girder bridge, Final report January, 2011.
7. Plank J, New developments in admixtures for precast and ready-mix concrete. ICCX Middle East 2018 (International Concrete Conference & Exhibition), Sharjah (U.A.E.), November 25 – 26, 2018, Conference proceedings, p. 24-32.
8. FHWA-HRT-09-069, October 2009: Structural Behavior of a 2nd Generation UHPC Pi-Girder.
9. FHWA-HRT-10-079:2010, Finite Element Analysis of UHPC:Structural Performance of an AASHTO Type II Girder and a 2nd-Generation Pi-Girder.
10. FHWA-HRT-14-08, Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections.
11. BS EN 14889-1:2006, Fibres for concrete – Steel fibres. Definitions, specifications and conformity.
12. ASTM C469/C469M-14e1, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
13. ASTM A820/A820M-16, Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.
14. ACI PRC-239-18, Ultra-High Performance Concrete: An Emerging Technology Report.
15. Benjamin Graybeal and Myint Lwin: UHPC: A Bridge of the Future – A Solution Today. ASPIRE Magazine, Spring 2010, pp. 47-48. 2010.
16. WB- DRVN. REPORT PILOTING AND SCALING UP BUILDING CLIMATE RESILIENT BRIDGES IN POOR RURAL AREAS, 2019. Hanoi. Vietnam